



**PLANTEAMIENTO DE UN MODELO LOGÍSTICO MULTINOMIAL
COMO HERRAMIENTA ESTADÍSTICA PARA EVALUAR EL
DESEMPEÑO DE LOS LABORATORIOS QUE ANALIZAN AGUA
PARA CONSUMO HUMANO.**

Autor

Olga Lucia Ávila Guzmán

Fundación Universitaria Los Libertadores

Departamento de Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C.

2017



**PLANTEAMIENTO DE UN MODELO LOGÍSTICO MULTINOMIAL
COMO HERRAMIENTA ESTADÍSTICA PARA EVALUAR EL
DESEMPEÑO DE LOS LABORATORIOS QUE ANALIZAN AGUA
PARA CONSUMO HUMANO.**

Autor:

Olga Lucía Ávila Guzmán

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
ESTADÍSTICA APLICADA**

Asesor:

Profesor Manuel Francisco Romero Ospina

Fundación Universitaria Los Libertadores

Departamento de Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C.

2017

Nota de Aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C., Julio 22 de 2017

Las Directivas de la Fundación Universitaria
Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo
docente no son responsables por los
criterios e ideas expuestas en el presente documento.
Estos corresponden únicamente a los autores

CONTENIDO

Pág

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	MARCO CONCEPTUAL	14
2.1	COMPARACIONES INTERLABORATORIO.....	14
2.2	PROGRAMA INTERLABORATORIO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE (PICCAP).....	16
2.2.1	Operación del programa.....	17
2.2.2	Parámetros fisicoquímicos.....	19
2.2.3	Evaluación del desempeño de los participantes.....	21
2.3	ANÁLISIS DEL CONTEXTO NACIONAL DE LOS PROGRAMAS DE EVALUACIÓN EXTERNA DE DESEMPEÑO.....	21
2.4	TEORÍA DE MODELOS DE REGRESIÓN LOGÍSTICA MULTINOMIAL.....	23
2.5	SOFTWARE ESTADÍSTICO R.....	25
3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
4.	OBJETIVOS	28
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	28
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
5.	MÉTODOLÓGÍA	29
5.1	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	29
5.2	DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....	30
5.2.1	Técnica analítica:.....	30
5.2.2	Año de envío:.....	31
5.2.3	Nivel de la concentración de la muestra:.....	31
5.3	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DEFINIDAS.....	31
5.4	CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	32
5.5	FORMULACIÓN DEL MODELO LOGÍSTICO MULTINOMIAL.....	32
6.	RESULTADOS	34
6.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES.....	34
6.1.1	Desempeño de los laboratorios.....	34
6.1.2	Técnicas analíticas:.....	37
6.1.3	Año de Envío.....	40
6.1.4	Concentración de la muestra:.....	42
6.2	CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	42
6.3	AJUSTE DEL MEJOR MODELO.....	43
6.3.1	Evaluación de los efectos de interacción del modelo explicativo.....	44
6.3.2	Evaluación de la bondad de ajuste.....	50

6.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO OBTENIDO	53
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
8. CONCLUSIONES.....	58
9. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES.....	61
10. REFERENCIAS.....	62
ANEXOS	63
ANEXO 1: ANÁLISIS ROBUSTO: ALGORITMO A.....	63
ANEXO 2: LABORATORIOS PARTICIPANTES PICCAP AÑOS 2014 Y 2015	64

LISTA DE TABLAS

- Tabla No.1:** Mensurandos fisicoquímicos medidos en el PICCAP
- Tabla No. 2:** Métodos empleados para la determinación de alcalinidad en agua
- Tabla No. 3:** Relación de las muestras enviadas en las tres rondas del 2014 y 2015
- Tabla No. 4:** Codificación de la variable TÉCNICA
- Tabla No. 5:** Codificación de la variable AÑO DE ENVÍO
- Tabla No. 6:** Codificación de la variable CONCENTRACION DE LA MUESTRA
- Tabla No. 7:** Modelos a estudiar
- Tabla No. 8:** Resultados para el modelo nulo
- Tabla No. 9:** Resultados para el modelo 1
- Tabla No. 10:** Resultados para el modelo 2
- Tabla No. 11:** Resultados para el modelo 3
- Tabla No. 12:** Resultados para el modelo 4
- Tabla No. 13:** Resultados para el modelo 5
- Tabla No. 14:** Resultados para el modelo 6
- Tabla No. 15:** Resultados para el modelo 7
- Tabla No. 16:** Comparación de las devianzas y de los AIC de los modelos ajustados:
- Tabla No. 17:** Sobre-dispersión para los modelos ajustados:
- Tabla No. 18:** ODDS RADIO del mejor modelo (MODELO 5)
- Tabla No. 19:** Intervalos de confianza para las ODDS RATIOS
- Tabla No. 20:** Perfiles utilizados para la estimación del mejor modelo
- Tabla No. 21:** Probabilidades estimadas para el modelo 5
- Tabla No. 22:** Perfiles con mayor probabilidad de obtener un resultado satisfactorio
- Tabla No. 23:** Perfiles con menor probabilidad de obtener un resultado satisfactorio
- Tabla No. 24:** Perfiles con mayor probabilidad de presentar resultados insatisfactorio
- Tabla No. 25:** Perfiles con menor probabilidad de presentar resultados insatisfactorio
- Tabla No. 26:** Perfiles con mayor probabilidad de presentar resultados cuestionables
- Tabla No. 27:** Perfiles con menor probabilidad de presentar resultados cuestionables

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No.1: Comportamiento distribución logística

Gráfica No.1: Comportamiento odds en un modelo logístico

Gráfica No.2: Comportamiento de la variable Desempeño (ALCALINIDAD)

Gráfica No.3: Histograma z-Score (ALCALINIDAD)

Gráfica No.4: Histograma z-Score (ALCALINIDAD) SIN DATOS ANÓMALOS

Gráfica No.6: Boxplot Alcalinidad con respecto a la técnica utilizada

Gráfica No.7: Cantidad de resultados reportados (ALCALINIDAD)

Gráfica No.8: Boxplot Alcalinidad con respecto al envío

GLOSARIO

COMPARACIÓN INTERLABORATORIO (NTC-17043:2010, p.2): Organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre el mismo ítem o ítems similares por dos o más laboratorios, de acuerdo con condiciones predeterminadas.

ENSAYO DE APTITUD (NTC-17043:2010, p.2): Evaluación del desempeño de los participantes con respecto a criterios previamente establecidos mediante comparaciones interlaboratorios.

PROGRAMA DE ENSAYOS DE APTITUD (NTC-17043:2010, p.2): Ensayos de aptitud diseñados y operados en una o más rondas para un área específica de ensayo, medida, calibración o inspección.

ITEM DE ENSAYO DE APTITUD (NTC-17043:2010, p.2): Muestra, material de referencia, patrón de medida u otra información utilizada en un ensayo de aptitud.

MENSURANDO (VIM, 2012 p.27): Magnitud que se desea medir

VALOR ASIGNADO (NTC-17043:2010, p.1): Valor que se atribuye a una cantidad particular y se acepta, algunas veces por convención, que tiene una incertidumbre adecuada para un propósito determinado

DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA LA EVALUACIÓN DE LA APTITUD (NTC-17043:2010, p.1): Medida de dispersión utilizada en la evaluación de los resultados de un ensayo de aptitud basada en la información disponible.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA (NTC-17043:2010, p.4): Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mesurando, basado en la información utilizada.

MÉTODO ESTADÍSTICO ROBUSTO (NTC-17043:2010, p.3): Método estadístico insensible a pequeñas desviaciones de la hipótesis de partida de un modelo probabilístico implícito.

MODELO LOGISITICO MULTINOMIAL: Modelo estadístico cuyo objetivo principal es conocer la relación entre una variable dependiente cualitativa con más de dos respuestas (multinomial) y una o más variables explicativas independientes (o covariables) las cuales pueden ser cualitativas o cuantitativas.

DEVIANZA: La devianza residual es un criterio de bondad de ajuste sumamente útil para evaluar la contribución de las variables durante su proceso de selección como para evaluar el ajuste general del modelo. En los modelos generalizados no se obtiene un valor R^2 pero un resultado semejante residual en relación con la devianza nula del modelo.

CRITERIO DE INFORMACIÓN DE AKAIKE (AIC): Índice estadístico que evalúa tanto el ajuste del modelo a los datos como la complejidad del modelo. Cuanto más pequeño es el AIC mejor será el ajuste del modelo estudiado.

**PLANTEAMIENTO DE UN MODELO LOGÍSTICO MULTINOMIAL COMO
HERRAMIENTA ESTADÍSTICA PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE
LOS LABORATORIOS QUE ANALIZAN AGUA PARA CONSUMO
HUMANO**

****Olga Lucia Ávila Guzmán**

RESUMEN

La vigilancia de la calidad de agua potable es una actividad muy importante para mantener la salubridad en toda la población colombiana, es por esto que los actores que intervienen en esta vigilancia deben reportar resultados exactos y precisos en el análisis de las muestras utilizadas para dicha actividad. En el presente trabajo se propone un modelo logístico multinomial que sirva de herramienta estadística a los laboratorios que vigilan la calidad del agua potable para establecer cuáles son las técnicas analíticas que dan mejores resultados en los análisis y que tanta influencia puede tener el uso de estas técnicas, las diferentes concentraciones y el año del envío en el resultado final de su desempeño.

Palabras clave: Modelo logístico multinomial, vigilancia de la calidad del agua, Programa Interlaboratorio PICCAP

****Química UNAL, Estudiante Especialización en Estadística aplica FUL**

1. INTRODUCCIÓN

El tema de investigación que motivo el presente trabajo se centra en la amplia aplicabilidad de los modelos multinomiales para el estudio y análisis de datos obtenidos en los diferentes ámbitos de la salud pública.

El grupo Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud, dentro del marco normativo establecido por el Ministerio de Salud y Protección Social en el decreto 1575 (Decreto 1575, 2007), lidera la vigilancia de la calidad del agua potable por medio de la plataforma creada para tal fin denominada SIVICAP (Sistema de Vigilancia de la Calidad de Agua Potable), la cual se emplea como herramienta para consolidar la información obtenida de los laboratorios en los análisis físicos, químicos y microbiológicos medidos sobre el agua potable en los diferentes municipios del país y que pueden afectar la salud de la población colombiana al ser consumida (Nava, Mejía & Soler., 2012).

El Programa Interlaboratorio del Control de Calidad de Agua Potable – PICCAP, nace en el año de 1996 (Nava & Guzmán., 2015) debido a la necesidad de evaluar el desempeño y la confiabilidad de los resultados generados por estos laboratorios que prestan los servicios de análisis en el agua potable, resultados que serán el insumo para alimentar la plataforma SIVICAP mencionada anteriormente; lo reportado en ella, generará alertas a los entes gubernamentales para la toma de decisiones nacionales y su actuar frente a posibles emergencias que se puedan presentar y que afecten al consumidor final, de ahí la importancia de la veracidad de los resultados emitidos por los laboratorios ya que entran a ser actores de vital importancia en la vigilancia de la salud pública en Colombia.

El programa está dirigido a los laboratorios prestadores de servicios de carácter público, privado o mixto, constituidos como empresas independientes o laboratorios de salud pública que hacen parte las Entidades Territoriales de Salud, Empresas Prestadoras del Servicio Público de Acueducto, Corporaciones Autónomas Regionales, Universidades entre otros, que tenga dentro de su portafolio de servicios, los análisis físicos, químicos y/o microbiológicos de agua potable (Ávila, 2016)

Como principio general, el programa establece que los laboratorios participantes analicen los ítems de ensayo enviados, con las mismas técnicas que utilizan en su trabajo analítico de rutina; se recomienda que los métodos asociados estén normalizados y en lo posible sean validados y/o verificados.

Los resultados derivados de la presente investigación pueden abrir el camino para realizar análisis estadísticos diferentes con los datos recopilados en los distintos ámbitos de la salud pública asociados no solo al agua potable sino también a las enfermedades tropicales transmitidas por virus endémicos que tanto han afectado en los últimos años la salud de los colombianos, tales como la infección del Zika, Chikunguya, entre otros.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 COMPARACIONES INTERLABORATORIO

Las comparaciones interlaboratorios, según la Norma NTC ISO/IEC 17043:2010 (2), se definen como “la organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre el mismo ítem o ítems similares por dos o más laboratorios de acuerdo con condiciones predeterminadas”.

Al tener un sentido tan amplio la definición anterior, las comparaciones interlaboratorio pueden utilizarse para una gran variedad de propósitos tales como:

- Evaluar el desempeño por parte de los laboratorios para determinados análisis y mediciones, así como el monitoreo continuo del desempeño de los mismos.
- Identificar problemas en los laboratorios e iniciar acciones para la mejora
- Establecer la eficacia y la comparabilidad de los métodos de ensayo o medida
- Proporcionar confianza adicional a los clientes de los laboratorios
- Identificar las diferencias entre laboratorios
- Instruir a los laboratorios participantes sobre la base de los resultados de dichas comparaciones
- Validar las estimaciones de las incertidumbres asociadas
- Evaluar las características de un método analítico
- Asignar valores a los materiales de referencia y evaluar su adecuación para ser utilizados en procedimientos de ensayo o medida
- Apoyar las declaraciones de equivalencia de las mediciones de los Institutos Nacionales de Metrología.

La necesidad de confianza constante en el desempeño de los laboratorios no solo es esencial para los laboratorios y sus clientes sino también para otras partes interesadas tales como las autoridades reguladoras, vigilantes y los organismos de acreditación; tanto así, que aquel laboratorio que desee obtener un aval por estos organismos debe ser participe en una comparación interlaboratorio y reportar los resultados obtenidos a los respectivos entes para así obtener su reconocimiento.

Los ensayos de aptitud pueden clasificarse en:

- ✓ **Programas de Comparación de Mediciones:** en este tipo de programas, se hace circular el material a ser medido secuencialmente de un laboratorio participante al siguiente. Estos programas a menudo son utilizados cuando el material de ensayo es único y el tiempo no es crucial. Este tipo de programas es comúnmente utilizado para comparar patrones de calibración.
- ✓ **Programas de Ensayos Interlaboratorios:** consisten en distribuir simultánea y aleatoriamente numerosas muestras subdivididas a los participantes para que las ensayen concurrentemente. Las muestras tienen características idénticas. Los resultados son dirigidos al organismo coordinador y comparados con los valores asignados para indicar el desempeño de los laboratorios individuales y como un todo.
- ✓ **Programas de Ensayos de Muestras Divididas:** involucran muestras de un producto o material las cuales son divididas en dos o más partes con cada laboratorio ensayando una parte de cada muestra. Están limitados a un número limitado de participantes (habitualmente dos). Existe el reconocimiento de que uno de los participantes posee el nivel más alto de capacidad de ensayo.

- ✓ **Programas Cualitativos:** consisten en la identificación o detección de un material de ensayo (ej. Tipos de asbestos) o de un organismo patogénico específico. Los resultados pueden ser evaluados sin una referencia a cualquier otro participante o resultado de referencia. No requieren de varios laboratorios para evaluar el desempeño.
- ✓ **Programas de Procesos Parciales:** involucran la evaluación de las habilidades de los laboratorios para ejecutar partes de procesos completos de ensayos o mediciones, como por ejemplo toma o preparación de muestras, captura de especímenes, etc.

2.2 PROGRAMA INTERLABORATORIO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE (PICCAP)

El PICCAP inicia en el año 1996 (Nava & Guzmán, 2015) debido a la necesidad de evaluar el desempeño y la confiabilidad de los resultados generados por los Laboratorios de Salud Pública, quienes tenían la responsabilidad de vigilar la calidad del agua potable en toda la red de distribución de los 33 departamentos de Colombia, según la normatividad emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social.

De esta forma, se inicia con la participación únicamente de 31 laboratorios de las Seccionales de Salud, quienes participaron en dos rondas realizadas en el año 1996 para los mensurandos de Alcalinidad, Cloro Residual Libre, Cloruros, Color, Conductividad, Dureza Cálctica, Dureza Total, Fosfatos, Hierro Total, Sulfatos, Turbiedad, E. Coli, Coliformes Totales y Mesófilos; en 1997 se implementó una ronda adicional para abarcar el desempeño al inicio, a la mitad y al final del año; en el 2000 se amplió la cobertura a los laboratorios privados por lo que el número de inscritos

aumento a 80, y año tras año el programa ha tenido gran acogida hasta llegar al año 2015 con un total de aproximadamente 380 participantes quienes se sometieron a la evaluación de su desempeño por medio del programa.

En la actualidad cada ciclo anual del programa consta de 3 rondas anuales, en cada una de ellas se envían muestras ciegas de diferente concentraciones por cada mensurando a analizar. Una vez el laboratorio recibe los ítems de ensayo, debe analizarlos y reportar un resultado.

2.2.1 Operación del programa: es llevado a cabo por personal autorizado técnicamente competente; mediante una planeación minuciosa de todos los pasos definidos dentro de los documentos internos implementados por el sistema de gestión de calidad, se lleva a cabo toda la operación técnica del programa; esta se puede resumir en los siguientes pasos (Ávila, 2014)

- Inscripciones: al inicio del ciclo, se abren las inscripciones para que los laboratorios interesados en participar en el ejercicio realicen el correspondiente pago y su registro por medio de una plataforma on-line desarrollada para tal fin. Cabe resaltar que no existe ningún requisito técnico o de calidad para que un laboratorio pueda participar en el programa.
- Consolidado de participantes: se realiza para conocer la cantidad de participantes inscritos, con el fin de programar la cantidad de ítems de ensayo a preparar.
- Preparación de los ítems de ensayo: para los parámetros fisicoquímicos son preparados a partir de disoluciones de reactivos químicos o materiales de referencia certificados en agua grado reactivo.

- Envío de los ítems de ensayo: los ítems de ensayo preparados anteriormente son enviados simultáneamente a todos los participantes inscritos al programa.
- Análisis de los ítems de ensayo: una vez recibidos los ítems de ensayos, los participantes deben analizarlos con los métodos rutinarios con los que analizan sus muestras.
- Reporte de resultados: una vez obtienen el resultado de los diferentes mensurandos, el reporte lo realizan mediante la plataforma on-line y dentro de las fechas estipuladas.
- Análisis estadísticos de los resultados: el análisis de los datos recibidos de los participantes, es realizado por el organizador del programa; el cual consiste básicamente en determinar un valor asignado y una desviación estándar del ejercicio mediante métodos estadísticos robustos como es el caso del algoritmo A (descrito en el anexo 1 del presente documento).
- Evaluación de desempeño: una vez estimados los valores anteriores, son utilizados para evaluar el desempeño de cada resultado reportado por los participantes mediante el cálculo del z-score.
- Emisión de informes de resultados: son emitidos por el organizador del programa, con todos los análisis tanto estadísticos como de desempeño de los laboratorios; cabe aclarar que todo se maneja bajo criterios estrictamente confidenciales por medio de la asignación de un código único a cada laboratorio

Cada ronda está comprendida por los mismos pasos para tener al final del ciclo anual un consolidado con tres rondas.

2.2.2 Parámetros fisicoquímicos (Ávila, 2016): Las muestras realizadas para evaluar los ítems de ensayo fisicoquímicos son preparadas en los laboratorios del Instituto Nacional de Salud, de acuerdo a los instructivos internos de operación técnica del programa. Se generan soluciones a partir reactivos químicos o patrones concentrados, los cuales se diluyen en agua grado reactivo y son homogenizadas por agitación mecánica. Las soluciones son envasadas por personal autorizado en frascos plásticos los cuales son sellados siguiendo los lineamientos descritos en los documentos internos del programa. En todo el proceso se llevan a cabo las buenas prácticas de laboratorio, almacenamiento y preservación del material, principalmente considerando el transporte y entrega a los laboratorios participantes; para lo cual se hace verificación mediante pruebas de homogeneidad y estabilidad de los ítems de ensayo, con el fin de comprobar su integridad bajo los criterios establecidos en la norma NTC ISO/IEC 5755:2010 “Métodos estadísticos para utilizar en ensayos de aptitud mediante comparaciones interlaboratorio”.

En la Tabla No.1 se listan los mensurandos fisicoquímicos que actualmente evalúa el programa PICCAP

Tabla 1: Mensurandos fisicoquímicos medidos en el PICCAP

MENSURANDO	UNIDADES DE MEDIDA
pH	Unidades de pH
Color	UPC

MENSURANDO	UNIDADES DE MEDIDA
Turbiedad	UNT
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$
Cloruros	mg Cl^- /L
Cloro Residual Libre	mg Cl_2 /L
Alcalinidad Total	mg CaCO_3 /L
Dureza Total	mg CaCO_3 /L
Dureza Cálcica	mg CaCO_3 /L
Hierro	mg Fe/L
Sulfatos	mg SO_4^{2-} /L
Fosfatos	mg PO_4^{2-} /L
Aluminio	mg Al/L
Cadmio	mg Cd /L
Plomo	mg Pb/L
Mercurio	mg Hg/L
Carbono Orgánico Total	mg COT/L

Adicionalmente el programa incluye tres parámetros microbiológicos (coliformes fecales, mesófilos y E. Coli) sin embargo no serán objeto del presente análisis debido a la naturaleza cualitativa de estas variables y que en la mayoría de los casos arrojan resultados satisfactorios

2.2.3 Evaluación del desempeño de los participantes (Ávila, 2016): Una vez los participantes reciben los ítems de ensayo, los analizan con la técnica analítica que emplean en sus muestras de rutina y reportan el resultado obtenido, el cual es comparado con un valor asignado hallado como el consenso general de todos los participantes teniendo en cuentas previos criterios para su asignación (ver anexo 1). Para la evaluación del desempeño se utiliza el indicador Z-score que se calcula de la siguiente forma:

$$z - Score = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}$$

En donde:

$\hat{\sigma}$ = es la desviación estándar para la evaluación de la aptitud.

x = es el valor reportado por el laboratorio

X = es el valor asignado del ítem de ensayo

El indicador z-score se interpreta de la siguiente manera:

$z - score \leq \pm 2 \Rightarrow$ Resultado Satisfactorio

$\pm 2 < z - score < \pm 3 \Rightarrow$ Resultado Cuestionable

$z - score \geq \pm 3 \Rightarrow$ Resultado Insatisfactorio

2.3 ANÁLISIS DEL CONTEXTO NACIONAL DE LOS PROGRAMAS DE EVALUACIÓN EXTERNA DE DESEMPEÑO

A nivel mundial la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) forman el sistema especializado para la normalización mundial, desarrollando normas internacionales por medio de comités técnicos establecidos por la organización respectiva con el fin de atender campos particulares de la actividad técnica a nivel mundial.

Un primer lineamiento para este tipo de ensayos fue emitido por estas entidades en el año 1997 bajo la guía ISO/IEC 43-1 (8) y 43 – 2 (9) “Pruebas de aptitud mediante comparación intralaboratorios”, estableciendo un primer acercamiento a la planeación y algunos cálculos estadísticos en la formulación de estas pruebas.

Debido a las exigencias internacionales en cuanto a la calidad analítica de los resultados, en el año 2010 se elabora la norma internacional ISO/IEC 17043:2010 “Evaluación de la conformidad – Requisitos Generales para los ensayos de aptitud” (2), con el fin de facilitar a todas las partes interesadas una base homogénea para determinar la competencia de las organizaciones que proveen ensayos de aptitud; esta norma sustituyó por completo a las guías 43-1 y 43-2.

En Colombia, a raíz del auge de la acreditación bajo la norma ISO/IEC 17025:2005 (1), se hace de obligatorio cumplimiento la participación en los ensayos de aptitud como una forma para asegurar el dato analítico obtenido por los diferentes Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC) establecidos como laboratorios de ensayo, de calibración, de personas entre otros.

Estos programas interlaboratorios toman una fuerza mayor debido a la emisión del decreto 1471 del 2014 por el cual se reorganiza el Subsistema Nacional de Calidad de Colombia (4), y se establece que los proveedores de este tipo de servicios deben estar acreditados bajo la norma ISO/IEC 17043:2010 (artículo 83)

De acuerdo con este contexto, el INS siendo líder en el ámbito con el programa de aguas PICCAP, decide iniciar en el año 2015 el proceso de acreditación ante el Organismo Nacional de Acreditación Colombiano (ONAC) y la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), logrando con éxito la acreditación en el año 2016 (13), convirtiéndose en el primer proveedor nacional acreditado en Colombia bajo esta norma

en la matriz de agua potable. Por consiguiente, el PICCAP se vuelve una herramienta muy importante tanto para los laboratorios participantes que son evaluados bajo sus criterios como para los entes acreditadores, vigilantes y reguladores quienes buscan mejorar la calidad analítica del país.

2.4 TEORÍA DE MODELOS DE REGRESIÓN LOGÍSTICA MULTINOMIAL

En los modelos de regresión logística se pretende conocer la relación entre una variable dependiente cualitativa dicotómica (regresión logística binaria) o con más de dos categorías (regresión logística multinomial) y entre variables explicativas independientes o también llamadas covariables, las cuales pueden ser de naturaleza cuantitativa o cualitativa.

En las variables cualitativas dicotómicas, la ausencia de la característica toma el valor 0 y su presencia toma el valor 1, la claridad en la codificación es muy relevante a la hora de la modelación ya que cualquier otra codificación provocaría modificaciones en la interpretación del modelo.

Para las variables multinomiales (con más de una categoría) se debe realizar una transformación, para poderlas incluir en el modelo. Esto consiste en crear variables dummy o ficticias, de tal forma que una se tomaría como referencia y cada una de las variables creadas entraría en el modelo de forma individual. Si la variable multinomial posee n categorías, se generarían n-1 variables ficticias.

La ecuación para un modelo de regresión logística es:

$$\Pr(Y = 1/X) = \frac{\exp[b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i]}{1 + \exp[b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i]} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

$\Pr(Y = 1/X)$ = probabilidad de que el resultado de un laboratorio sea satisfactorio ($Y=1$) en presencia de las diferentes variables (x)

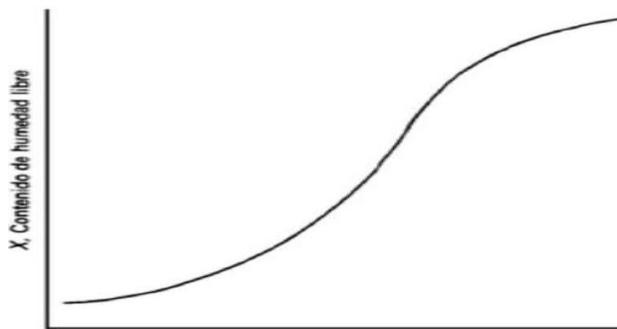
X = es el conjunto de las n variables independientes que forman parte del modelo

b_0 = es la constante del modelo o término independiente

b_i = los coeficientes de las variables independientes

En la siguiente gráfica se observa un ejemplo de cómo se comporta esta distribución

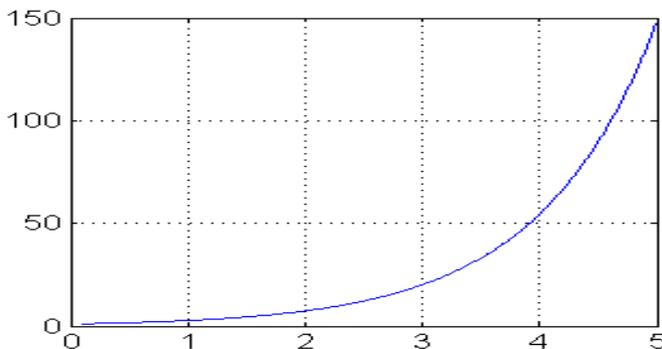
Gráfica 5: Comportamiento distribución logística



Al dividir la ecuación 1 por el complementario, se obtiene la siguiente expresión

$$\frac{\Pr(Y=1/x)}{1-\Pr(Y=1/x)} = \exp[b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i] \quad (\text{Ecuación 2})$$

La parte izquierda de la ecuación 2 es conocida como la *odds* y es una expresión matemática más sencilla de manejar. Su comportamiento se puede observar en la gráfica No. 2



Gráfica 6: Comportamiento odds en un modelo logístico

Si se aplica el logaritmo natural a la ecuación 2, el término de la derecha se linealiza, obteniendo una expresión matemáticamente más sencilla de manejar

$$\log \left[\frac{\text{Pr}(Y=1/x)}{1-\text{Pr}(Y=1/x)} \right] = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i \quad (\text{Ecuación 3})$$

El logit es el logaritmo natural de la odds de la variable dependiente, es decir la expresión que se encuentra al lado izquierdo de la ecuación 3, y la expresión al lado derecho es la expresión de una recta

La ecuación 3 se puede simplificar de la siguiente forma:

$$\log \left[\frac{p_i}{1-p_i} \right] = \beta_0 + \beta_i x_i \quad (\text{Ecuación 4})$$

Finalmente la ecuación 4 representa de manera general un modelo logístico.

2.5 SOFTWARE ESTADÍSTICO R

R es un software libre para el análisis estadístico de datos creado por Ross Ihaka y Robert Gentleman (14). R se distribuye gratuitamente por lo que su desarrollo y distribución son llevados a cabo por varios estadísticos conocidos como el Grupo Nuclear del Desarrollo de R.

R está escrito principalmente en C o como archivos binarios pre-compilados; posee muchas funciones para análisis estadísticos y gráficos. Es un programa muy versátil ya que se puede manejar una gran cantidad de información contenida en bases de datos extensas, pudiendo combinarse en un solo programa diferentes funciones estadísticas para realizar análisis más complejos. Se puede descargar el software de la página web

www.r-project.org.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La veracidad de los resultados analíticos que emiten los laboratorios participantes del programa PICCAP es de suma importancia en la salud pública del país. Es por esto que surge la necesidad de realizar un análisis con herramientas estadísticas más concluyentes de las posibles causas que puedan afectar el desempeño analítico de los participantes.

A la luz de la norma ISO/IEC 17043:2010 “Requisitos generales para los ensayos de aptitud” se implementó una nueva forma de calificación donde se emplean métodos estadísticos robustos para la asignación del valor asignado, la incertidumbre asociada a este y la desviación estándar del ejercicio; evaluando el desempeño de los participantes por medio de un indicador conocido como z-score y cuya interpretación se resume en tres características: resultados satisfactorios, cuestionables e insatisfactorios.

En consecuencia, en los últimos años se han obtenido una cantidad representativa de resultados, observándose que para algunos mensurandos analizados dentro del Programa, se encuentra una mayor cantidad de resultados insatisfactorios que para otros; bajo el razonamiento analítico y experimental existen factores controlables que pueden afectar el desempeño de un laboratorio, tales como las técnicas empleadas, la competencia del personal, los equipos de medición, concentraciones trabajadas, entre otros.

Por lo anterior, ha surgido un interés especial por parte del Programa PICCAP en conocer que factores pueden afectar el resultado de los laboratorios participantes, es por esto que se plantea el siguiente problema:

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:

¿Cuál sería el mejor modelo logístico multinomial para obtener un resultado Satisfactorio en la evaluación de desempeño de los laboratorios participantes del Programa Interlaboratorio para el Control de la Calidad del Agua Potable, al usar técnicas analíticas de diferente complejidad, la concentración trabajada y el año del envío?

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

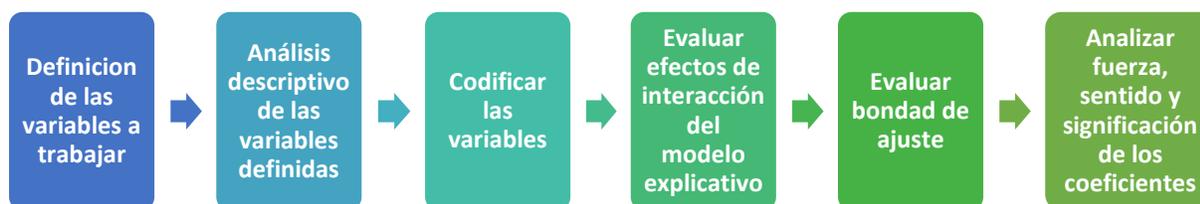
Plantear un modelo logístico multinomial que sirva como herramienta a los laboratorios que analizan agua potable, para obtener un resultado satisfactorio en el desempeño técnico de los laboratorios evaluados en el PICCAP.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables que se incluirán en el modelo logístico multinomial propuesto para obtener un resultado satisfactorio en el desempeño técnico de los laboratorios evaluados en el PICCAP
- Realizar un análisis descriptivo unidimensional de las variables escogidas para la modelación de los datos obtenidos.
- Evaluar los efectos de interacción del modelo explicativo, bondad de ajuste, sentido y significado de los coeficientes, exponenciales y estadísticos de prueba derivados del modelo.

5. MÉTODOLÓGÍA

A continuación se detalla la forma como se llevará a cabo el presente estudio para el posterior análisis estadístico; con el fin de encontrar aquellos factores que influyan en la obtención de un resultado satisfactorio por parte de los laboratorios participantes del programa. El proceso general en el planteamiento de un modelo de regresión logística se describe en el siguiente esquema



5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Se llevara a cabo un estudio tipo longitudinal con los resultados obtenidos por los laboratorios participantes del PICCAP durante los años 2014 y 2015

Criterio de Inclusión: Participantes inscritos en el programa PICCAP que hayan reportado resultados en la variable analizada.

Criterio de Exclusión: Participantes inscritos en el programa PICCAP que no hayan reportado resultados en la variable analizada (alcalinidad).

Universo poblacional y marco muestral: El universo poblacional son todos los laboratorios que realizan análisis de agua potable, son aquellos que están autorizados por el Ministerio de Salud y Protección Social para esto y que están inscritos en el programa PICCAP. En el anexo 2 se presentan los laboratorios que participaron en los

años 2014 y 2015 y los cuales hacen parte del universo poblacional del presente estudio.

La muestra para estudio, fue tomada del total del universo pero solo aquellos laboratorios que reportaron resultado para el analito de interés, fueron tenidos en cuenta para el modelo.

Cobertura: El muestreo represento un 90% del universo poblacional de los laboratorios inscritos en el programa. El estudio cubrió todos los resultados obtenidos en los dos años de estudio independientemente de la evaluación del desempeño del laboratorio.

Programa Estadístico: Para el presente trabajo se empleará el programa estadístico R, versión 3.2.0. Para la modelación estadística se utilizaron las siguientes librerías library(VGAM), library(sqldf), library (MASS) y library (nnet)

5.2 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Para el modelo logístico multinomial que se propone, la variable dependiente será el desempeño del laboratorio, la cual es una variable multinomial ya que tiene 3 posibles respuestas: satisfactorio, cuestionable e insatisfactorio.

Las covariables o variables independientes que formarán parte del modelo serán las siguientes

5.2.1 Técnica analítica: debido a que el programa no exige a los participantes el uso de una técnica específica es de gran importancia conocer aquellas que arrojan resultados más precisos y exactos. En la actualidad hay diferentes técnicas que son empleadas para el mismo fin, sin embargo de estas, hay algunas que por su complejidad, tiempo o costo no son las más empleadas por los laboratorios a pesar de que son de mayor jerarquía que otras. Con el modelo propuesto se

pretende dar una herramienta a los laboratorios para que a la hora de implementar una técnica utilicen un criterio valido para su escogencia. Esta variable independiente será de tipo cualitativa ordinal

5.2.2 Año de envío: se van a utilizar en la modelación, los resultados obtenidos de las tres rondas del 2014 y las tres rondas del 2015; se incluye esta variable de tiempo, para saber si la época del envío (de un año al otro) influye en alguna forma al desempeño del laboratorio. Esta variable es considerada como cualitativa ordinal

5.2.3 Nivel de la concentración de la muestra: Es bien conocido experimentalmente que hay ciertos analitos que en concentraciones bajas tienden a presentar resultados más inexactos que ha concentraciones altas y viceversa. Debido a que el programa maneja diferentes concentraciones se clasificarán en concentraciones bajas o altas dependiendo del mensurando a estudiar para conocer si el tipo de concentración enviado influye de algún modo al desempeño del laboratorio. Esta variable será considerada como cualitativa nominal.

5.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DEFINIDAS

Antes de realizar el análisis estadístico para conocer la relación entre las distintas variables, se realiza un análisis descriptivo unidimensional de las variables definidas anteriormente teniendo en cuenta los resultados del mensurando escogido, que en este caso será ALCALINIDAD a fin de conocer un poco su comportamiento. Por la gran cantidad de mensurando que se miden en el programa, no se realizará el estudio para todos sino se dará un ejemplo con solo los resultados obtenidos para ALCALINIDAD.

Este análisis descriptivo se realizará empleando diferentes herramientas estadísticas como:

- Gráficas de barras
- Gráficas de cajas (Box plot)
- Gráficas de pastel
- Histogramas

5.4 CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

En las variables numéricas R toma como primer nivel el código más pequeño, mientras que para las variables que contienen caracteres, el programa las ordena alfabéticamente y toma valor de referencia aquella que encuentra inicialmente; es por esto que se establecerán como niveles de referencia para el parámetro escogido (ALCALINIDAD) los siguientes: para la técnica será la FOTOMÉTRICA, para el nivel de concentración de la muestra se establecerá la concentración ALTA como referencia y finalmente para envíos se establece como el envío 2014 el de referencia.

Se realizará una re-codificación parcial de las variables transformándolas en variables *dummy*.

5.5 FORMULACIÓN DEL MODELO LOGISTICO MULTINOMIAL

Para el presente trabajo, la variable dependiente Y será el desempeño del laboratorio (SATISFACTORIO, CUESTIONABLE e INSATISFACTORIO), se tomará como base el desempeño SATISFACTORIO, por lo tanto si $Y=1$ se entenderá como la probabilidad de obtener un resultado satisfactorio, si $Y = 0$ será comprendido como la ausencia de esto; y las variables independientes serán las técnicas utilizadas por los participantes, el año de envío (2014 o 2015) y las concentraciones analizadas clasificadas como muestras altas y bajas.

Para el presente ejercicio la variable dependiente (desempeño) tiene 3 categorías

SATISFACTORIO / CUESTIONABLE / INSATISFACTORIO

Por lo tanto se modelan 2 logit simultáneamente

$$\text{logit (CUESTIONABLE/ SATISFACTORIO | X)} = a_1 + b_1X$$

$$\text{logit (INSATISFACTORIO/ SATISFACTORIO | X)} = a_2 + b_2X$$

Las variables X son comunes en los dos logit, sin embargo se estiman coeficientes b_i diferentes para cada logit, e incluso las constantes.

Para la selección del mejor modelo y evaluar la bondad de ajuste se analizará la devianza del modelo nulo con los modelos propuestos, de la siguiente forma:

$$\%D^2 = \frac{\text{devianza nula} - \text{devianza residual}}{\text{devianza nula}} \times 100 \text{ (Ecuación 5)}$$

La fórmula anterior expresa el porcentaje de la variabilidad explicada por el modelo. Entre más pequeño sea el valor de la devianza residual mejor será el ajuste del modelo, por tanto entre más alto el porcentaje D^2 habrá mayor proporción de datos que es explicada por el modelo. Una vez se obtienen las devianzas de los modelos establecidos se compara cada una de ellas con la devianza del modelo nulo.

Adicionalmente a la devianza se utilizará el Criterio de Información de Akaike (AIC del inglés Akaike Information Criterion), el cual evalúa el ajuste del modelo a los datos como la complejidad del modelo. Cuanto más pequeño es el AIC mejor será su ajuste.

Se evaluará la sobre-dispersión de los modelos utilizando la estadística ji-cuadrado y sus grados de libertad.

Con estos tres criterios se escogerá el modelo que mejor explique los datos analizados para finalizar con el análisis de los coeficientes encontrados.

6. RESULTADOS

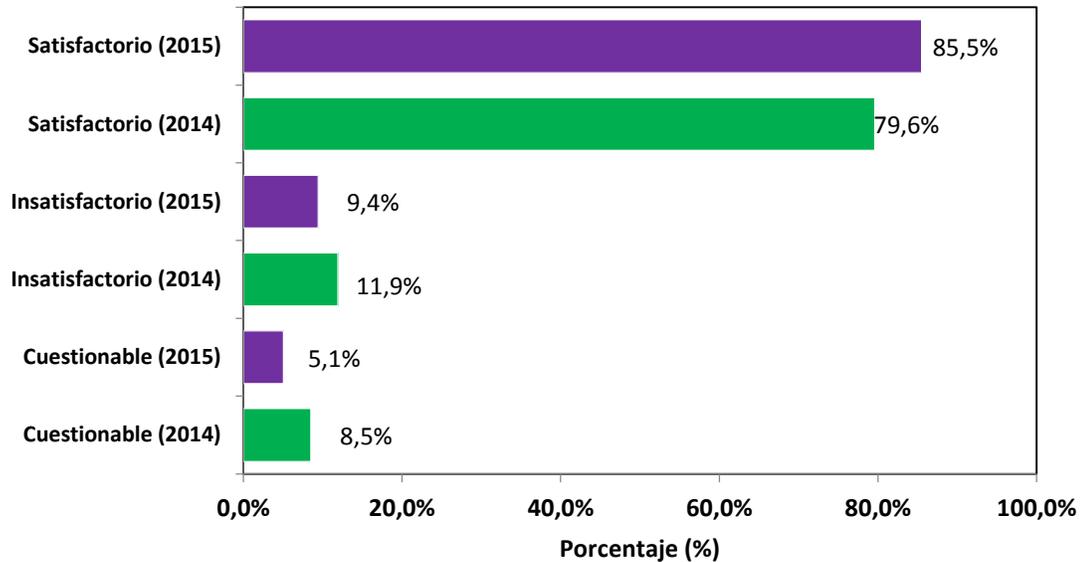
6.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES

6.1.1 Desempeño de los laboratorios: Como se definió anteriormente (numeral 5.1), está será la variable dependiente del modelo multinomial propuesto en el presente trabajo. Por su naturaleza, es considerada como variable cualitativa ordinal ya que presenta modalidades no numéricas (Satisfactorio, cuestionable e insatisfactorio) pero a diferencia de las cualitativas nominales, su ordenamiento indica la experticia técnica de un laboratorio.

Para que un resultado sea considerado como satisfactorio, el resultado del z-score debe estar ubicado entre más o menos dos desviaciones estándar de la media poblacional, los cuestionables son aquellos resultados que se encontraron entre 2 y 3 desviaciones estándar y los insatisfactorios aquellos resultados que están por encima de las tres desviaciones estándar y que indican que el laboratorio tiene fuera de control su método de ensayo.

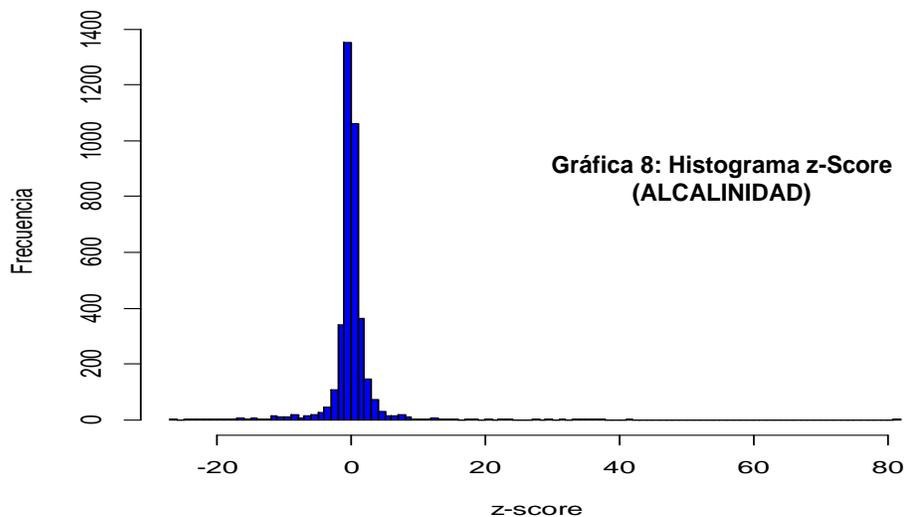
Respecto a la variable cualitativa ordinal (desempeño del laboratorio), su comportamiento se puede representar en un diagrama de barras, como se muestra en la gráfica No.3, la cual muestra un aumento en aproximadamente 6% de los resultados satisfactorios obtenidos en el 2014 con respecto al 2015 (79,6% a 85,5%, respectivamente) y una disminución con respecto a los resultados cuestionables e insatisfactorios; este incremento concuerda con el objetivo del programa PICCAP, el cual es servir como herramienta para la mejora continua de los laboratorios.

Gráfica 7: Comportamiento de la variable Desempeño (ALCALINIDAD)



Una vez que el participante detecte un problema en su método de ensayo durante algún envío puntual, debe tomar alguna acción para mejorar su desempeño en las próximas rondas evaluadas.

Debido a que la variable desempeño se deriva de una variable cuantitativa como lo es el estadístico z- Score, es posible graficar el histograma de desempeño con respecto a este valor (gráfica No.4)

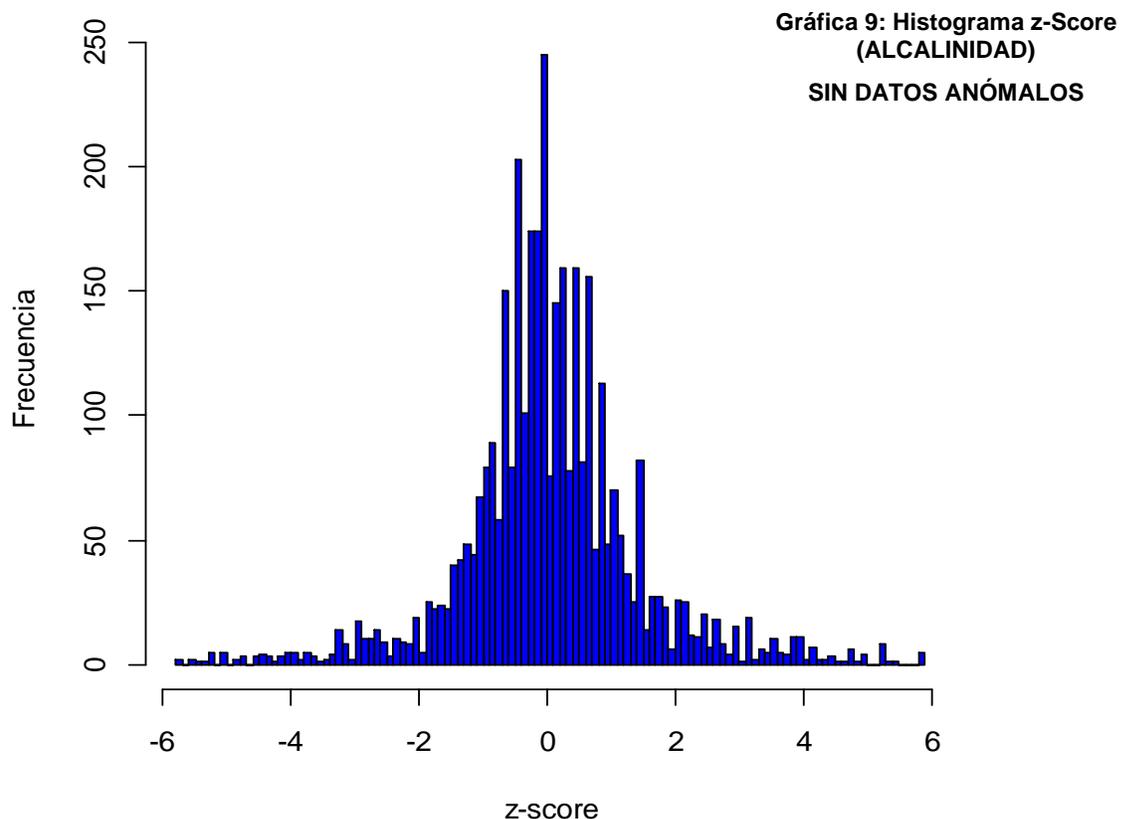


Gráfica 8: Histograma z-Score (ALCALINIDAD)

Se observa una alta dispersión de datos, hay algunos valores muy extremos hacia valores de z-score de 80, los cuales están muy alejados respecto a la población, por lo que se hace necesario aplicar una prueba estadística para determinar datos anómalos.

Por la cantidad de datos en estudio, el test de grubbs presenta una potencia adecuada para el tratamiento de los anómalos; por lo tanto se aplica a la población objeto. En el programa estadístico R es necesario cargar el paquete llamado outliers para programar la prueba utilizando el siguiente comando:
grubbs.test

Una vez se eliminaron los datos anómalos se realiza nuevamente el histograma (gráfico No. 5)



Después del tratamiento para la detección de los datos anómalos, se evidencia mejor la forma de la muestra original; se observa una mayor frecuencia hacia el centro de la gráfica mostrando la distintiva forma de campana de gauss.

De los datos analizados (excluyendo los anómalos) el 68,3% se encuentran en la media +/- 1 desviación estándar, el 87,1% se encuentra dentro de 2 desviaciones estándar y el 94,3% de los datos se encuentran dentro de las 3 desviaciones estándar; si se comparan estos porcentajes con los teóricos de la campana de gauss se puede concluir que la población bajo estudio no presenta una distribución normal; sin embargo para determinar la normalidad de los datos es necesario emplear pruebas estadísticas más potentes (tipo Shapiro Wilk, Kruskal Wallis, entre otras); no obstante debido a que el objetivo del presente estudio es diferente, solo se aplicará estadística descriptiva para observar el comportamiento de los datos bajo estudio.

6.1.2 Técnicas analíticas: Las técnicas analíticas utilizadas por los laboratorios participantes en los años 2014 y 2015 para el mensurando de alcalinidad fueron las siguientes:

- Volumetría Potenciométrica
- Volumetría Indicador
- Fotométrica
- Otras

Las técnicas volumétricas consisten en determinar la concentración del mensurando de interés utilizando la medida del volumen de una solución de concentración conocida (titulante); en el caso de la alcalinidad, implica la reacción de un ácido estándar (los más utilizados son los ácidos clorhídrico y

sulfúrico) como solución titulante, con los iones hidroxilos presentes en la muestra, producto de la disociación o de la hidrólisis de solutos en solución, los cuales son una medida de la alcalinidad del agua.

En la volumetría potenciométrica, el punto final se realiza determinando el volumen en el cual ocurre un cambio de potencial relativamente grande cuando se adiciona el titulante; para determinar este punto generalmente se utiliza un equipo conocido como potenciómetro, el cual mide la diferencia producida de este potencial eléctrico y su respuesta la transforma en una medida de pH.

En la volumetría con indicador, el principio químico es el mismo que la potenciométrica, sin embargo la diferencia radica en que el punto final es detectado con diferentes indicadores que tienen virajes de color a diferentes pHs, por ejemplo fenolftaleína (viraje a $\text{pH}=8,3$) y mixto (verde de bromocresol y rojo de metilo, 5:1 p/p (viraje a $\text{pH}=4,5$) cuyo cambio de color (viraje) se manifiesta a los pH indicados; para esta técnica es importante la destreza y el entrenamiento de la persona que realiza el análisis y que pueda detectar los cambios color presentados.

Las técnicas fotométricas generalmente se refieren a algunos kits que venden comercialmente y que se basan en reacciones químicas que producen cambios de color a diferentes longitudes de onda en el campo visible (entre 390 a 750 nm); el color producido es leído por un equipo llamado fotómetro; estos kits son utilizados mucho para la detección rápida de los analitos en campo, sin embargo debido a su practicidad y simplicidad no generan resultados tan precisos ni exactos en niveles bajos de concentración; para la confirmación de sus resultados generalmente se utilizan las técnicas volumétricas.

Estas tres técnicas son las más utilizadas en la determinación de la alcalinidad en agua; no obstante algunos participantes utilizan otros métodos comúnmente llamados “in house”, es decir desarrollados por ellos mismos y los cuales se identificarán en este estudio como otros.

De las tres técnicas definidas anteriormente, experimentalmente la que da mejores resultados en el laboratorio resulta ser la volumetría potenciométrica debido a que la detección final se realiza sobre un equipo y no depende del ojo humano.

Algunos métodos normalizados utilizan como técnicas analíticas las descritas anteriormente, en la presente tabla y solamente para información se enumeran algunos de estos métodos normativos, los cuales previamente a su publicación realizan estudios extensivos y robustos en la precisión y exactitud de los resultados arrojados.

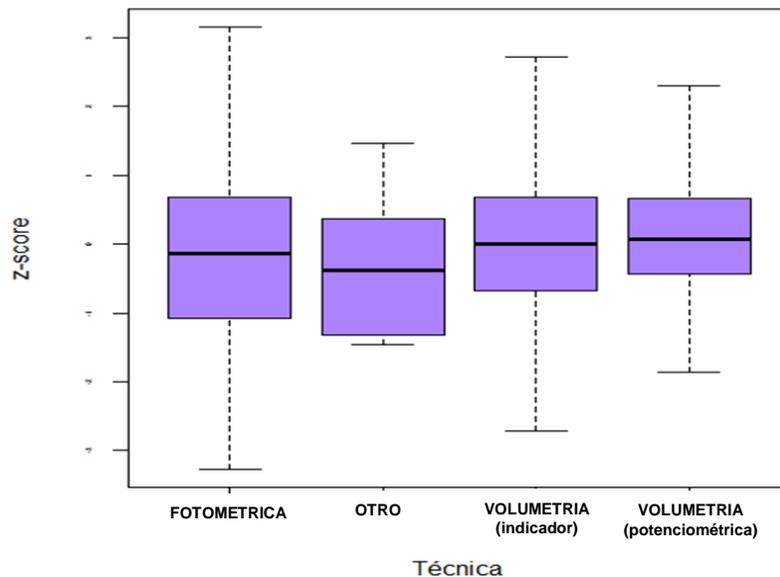
Tabla No. 2: Métodos empleados para la determinación de alcalinidad en agua

TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO NORMATIVO ASOCIADO
Volumetría potenciométrica	ASTM 1067-11 B
	Standard Methods 2320 B
Volumetría indicador	ASTM 1067-11 B
	Standard Methods 2320 B
Fotométrica	Kit comercial

Una forma gráfica para ver el comportamiento de esta variable es mediante el diagrama de caja o box plot, la cual proporciona una visión general de la simetría

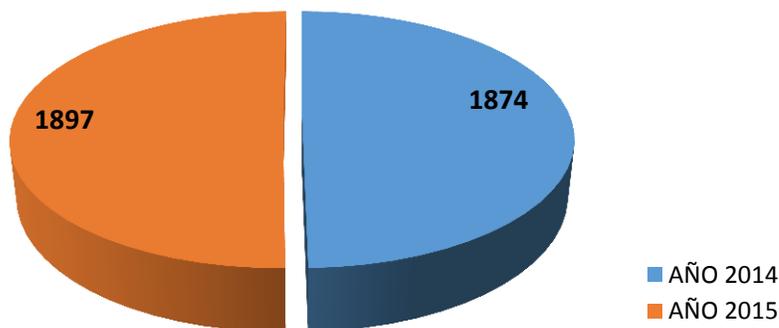
de la distribución de los datos. El rectángulo (caja) representa el recorrido intercuartílico de los datos, el tramo o línea inferior indica el primer cuartil, la línea del centro corresponde a la mediana y la línea superior de la caja hará referencia al tercer cuartil. Los bigotes son las líneas que salen a los costados de la caja y que sirven como referencia para ubicar las observaciones que están por fuera del 50% central de la distribución. En la gráfica No.6 se presenta el box-plot con respecto a la técnica utilizada, no se dibujaron los datos anómalos. En general, se observan distribuciones simétricas. La técnica que presenta menor simetría es la denominada como OTROS ya que observa un leve sesgamiento hacia la derecha, es decir presenta una asimetría positiva.

Gráfica No. 6: Box plot Alcalinidad con respecto a la técnica utilizada



6.1.3 Año de Envío: En la gráfica No. 7 se muestra la cantidad de resultados reportados por los participantes en el mensurando de Alcalinidad, discriminado por año de los envíos realizados:

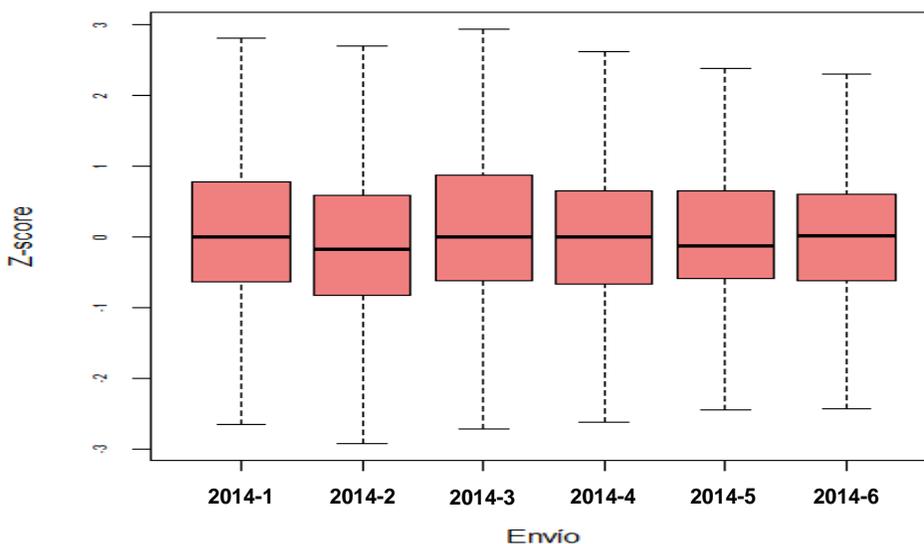
Gráfica No. 7: Cantidad de resultados reportados (ALCALINIDAD)



Se observa un incremento en aproximadamente un 1,2% (23 resultados adicionales) del 2014 al 2015, cabe aclarar que estos resultados son sobre los tres envíos de cada año (un total de 6 envíos).

Mediante una gráfica de cajas se puede observar también el comportamiento del indicador de desempeño (z-score) presentado durante los dos años en estudio. En la gráfica No. 8 se presenta el diagrama box plot, en la cual se observa una distribución simétrica en los seis envíos realizados en los años 2014 y 2015, comportamiento esperado en el desempeño de los laboratorios.

Gráfica No.8: Boxplot Alcalinidad con respecto al envío



6.1.4 Concentración de la muestra: Debido a que las técnicas analíticas en algunos casos tienen comportamientos diferentes en concentraciones bajas o altas del analito de interés se van a clasificar las concentraciones enviadas como altas o bajas de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla No. 3: Relación de las muestras enviadas en las tres rondas del 2014 y 2015

Envío	Valor Asignado (mg CaCO ₃ /L)	Tipo de muestra
2014 – 1	186	Muestra alta
2014 – 1	202	Muestra alta
2014 – 2	110	Muestra alta
2014 – 2	157	Muestra alta
2014 – 3	110	Muestra alta
2014 – 3	157	Muestra alta
2015 – 1	82	Muestra baja
2015 – 1	134	Muestra alta
2015 - 2	111	Muestra alta
2015 - 2	51	Muestra baja
2015 – 3	93	Muestra baja
2015 – 3	38	Muestra alta

6.2 CODIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

Como se explicó anteriormente, las variables se codificarán como variables dummy, como se muestra en las tablas No. 4, 5 y 6.

Tabla No. 4: Codificación de la variable TÉCNICA

	Otro	Volumetría (indicador)	Volumetría Potenciométrica
Fotométrico	0	0	0
Otro	1	0	0

	Otro	Volumetría (indicador)	Volumetría Potenciométrica
Volumetría (indicador)	0	1	0
Volumetría Potenciométrica	0	0	1

Tabla No. 5: Codificación de la variable AÑO DE ENVÍO

Año 2015	
Año 2014	0
Año 2015	1

Tabla No. 6: Codificación de la variable CONCENTRACION DE LA MUESTRA

Muestra alta	
Muestra alta	1
Muestra baja	0

Esta codificación el programa R la realiza automáticamente. Una vez codificadas las variables se procede a ajustar todos los modelos logit con respecto a la variable dependiente (desempeño), Satisfactorio será el nivel de referencia, se utilizará el paquete VGLM del programa R para el análisis de los modelos.

6.3 AJUSTE DEL MEJOR MODELO

Se iniciará con el modelo nulo el cual no tiene variables explicativas, este es el más simple que se puede considerar y estima la misma respuesta para todas las observaciones asignando como estimación común a la proporción muestral de éxitos.

Tabla No. 7: Modelos a estudiar

IDENTIFICACIÓN MODELO	VARIABLES
Modelo Nulo	DESEMPEÑO
Modelo 1	DESEMPEÑO / METODO
Modelo 2	DESEMPEÑO / MUESTRA
Modelo 3	DESEMPEÑO / ENVIO
Modelo 4	DESEMPEÑO / METODO+MUESTRA
Modelo 5	DESEMPEÑO / METODO+ENVIO
Modelo 6	DESEMPEÑO / MUESTRA+ENVIO
Modelo 7	DESEMPEÑO / METODO+MUESTRA+ENVIO

6.3.1 Evaluación de los efectos de interacción del modelo explicativo

➤ Modelo nulo: El modelo nulo arroja los siguientes resultados:

Tabla No. 8: Resultados para el modelo nulo

Variables Dependientes	Variables Independiente	Coefficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Constante	-2,502397	***	296.5101	114.7103
Insatisfactorio	Constante	-2,047210	***		

El p-valor indica que hay diferencias significativas entre los resultados satisfactorio, cuestionable e insatisfactorio, sin tener en cuenta ninguna de las variables definidas.

Este modelo para los dos logit, estaría definido como:

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = 2,502397 \text{ (Ecuación 6)}$$

$$\text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -2,047210 \text{ (Ecuación 7)}$$

A pesar de que estos logit no representan ninguna significación práctica, este modelo se vuelve muy importante ya que se utilizará su devianza para hallar el porcentaje de variabilidad de los datos analizados por los diferentes modelos propuestos.

➤ Modelo 1: DESEMPEÑO / METODO (nivel establecido FOTOMETRICO)

Tabla No. 9: Resultados para el modelo 1

Variables Dependientes	Variables Independiente	Coefficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-2.043161	***	257.5658	63.76593
	Método OTRO	-15.9647			
	Método INDICADOR	-0.3719882			
	Método POTENCIOMETRICA	-0.9783077	**		
Insatisfactorio	Intercepto	-1.218209	***		
	Método OTRO	0.3033343			
	Método INDICADOR	-0.7912994	***		
	Método POTENCIOMETRICA	-1.3872390	***		

Los logit del modelo 1 quedan definidos según las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right)$$

$$= 2,043161 - 15,9647\text{metOTRO} - 0,3719882\text{metINDICADOR} - 0,9723007\text{metPOTENCIOMETRICO}$$

(Ecuación 8)

$$\text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right)$$

$$= -1,218209$$

$$+ 0.3033343\text{metOTRO} - 0,7912994\text{metINDICADOR} - 1,3872390\text{metPOTENCIOMETRICO}$$

(Ecuación 9)

En este modelo se puede observar que las variables dependientes siguen siendo significativas. Ahora bien, no todos los coeficientes de la variable método son significativos, lo que indicaría que el valor del coeficiente del método OTRO tiene un valor nulo sobre la variable de respuesta.

➤ Modelo 2 = DESEMPEÑO / MUESTRA (nivel establecido MUESTRA ALTA)

Tabla No. 10: Resultados para el modelo 2

Variab ^{les} Dependientes	Variab ^{les} Independiente	Coficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-2.781817	***	287.2165	101.4167
	Muestra Alta	0.4014539	**		
Insatisfactorio	Intercepto	-2.250448	***		
	Muestra Alta	0.2966410	*		

El p-valor significativo en la variable Muestra indica que hay diferencias significativas por lo que se debe tener en cuenta esta variable en el modelo que se seleccione, los logit de este modelo son los siguientes

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -2,781817 + 0,4014539\text{muestraALTA}$$

(Ecuación 10)

$$\text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -2,250448 + 0,2966410\text{muestraALTA}$$

(Ecuación 11)

➤ Modelo 3 = DESEMPEÑO / ENVIO (nivel establecido AÑO 2014)

Tabla No. 11: Resultados para el modelo 3

Variab ^{les} Dependientes	Variab ^{les} Independiente	Coficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-2.238989	***	274.6691	88.86928
	Envío 2015	-0.5880557	***		
Insatisfactorio	Intercepto	-1.900701	***		
	Envío 2015	-0.3033516	**		

Los logit del modelo 3 quedan definidos según las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -2,238989 - 0,5880557 \text{envio2015}$$

(Ecuación 12)

$$\text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -1,900701 - 0,3033516 \text{envio2015}$$

(Ecuación 13)

➤ Modelo 4 = DESEMPEÑO / METODO+MUESTRA

Tabla No. 12: Resultados para el modelo 4

Variables Dependientes	Variables Independiente	Coficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-2.3270	***	252.0021	54.20228
	Método OTRO	-16.0513			
	Método INDICADOR	-0.3504			
	Método POTENCIOMETRICA	-0.9213	**		
	Muestra ALTA	0.3706	*		
Insatisfactorio	Intercepto	-1.3884	***	252.0021	54.20228
	Método OTRO	0.2438			
	Método INDICADOR	-0.7795	***		
	Método POTENCIOMETRICA	-1.3527	***		
	Muestra ALTA	0.2283			

Los logit del modelo 4 quedan definidos según las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) =$$

$$-2,3270 - 16,0513 \text{metOTRO} - 0,3504 \text{metINDICADOR} - 0,9213 \text{metPOTENCIOMETRICA} +$$

$$0,3706 \text{muestraALTA}$$

(Ecuación 14)

$$\text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) =$$

$$-1,3884 + 0,2438\text{metOTRO} - 0,7795\text{metINDICADOR} - 1,3527 \text{metPOTENCIOMETRICA} +$$

$$0,2283\text{muestraALTA}$$

(Ecuación 15)

➤ Modelo 5 = DESEMPEÑO / MÉTODO+ENVIO

Tabla No. 13: Resultados para el modelo 5

Variab Dependientes	Variab Independiente	Coeficiente	p- valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-1.837786	***	241.8983	44.09843
	Método OTRO	-17.1698			
	Método INDICADOR	-0.3433266			
	Método POTENCIOMETRICA	-0.8600163	*		
	Envío 2015	-0.5499117	***		
Insatisfactorio	Intercepto	-1.126183	***	241.8983	44.09843
	Método OTRO	0.2117823			
	Método INDICADOR	-0.7820068	***		
	Método POTENCIOMETRICA	-1.3424861	***		
	Envío 2015	-0.217388	*		

Los logit del modelo 5 quedan definidos según las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right)$$

$$= -1,837786 - 17,1698\text{metOTRO} - 0,3433266\text{metINDICADOR}$$

$$- 0,8600163\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,5499117\text{envio2015}$$

(Ecuación 16)

$$\text{Logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -1,126183 + 0,2117823\text{metOTRO} - 0,7820068\text{metINDICADOR} - 1,3424861\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,217388 \text{envio2015}$$

(Ecuación 17)

➤ Modelo 6 = DESEMPEÑO / MUESTRA+ENVÍO

Tabla No. 14: Resultados para el modelo 6

Variabes Dependientes	Variabes Independiente	Coficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-2.0966	***	277.5404	87.74056
	Muestra ALTA	-0.1424			
	Envío 2015	-0.6853	***		
Insatisfactorio	Intercepto	-2.0339	***		
	Muestra ALTA	0.1332			
	Envío 2015	-0.2165			

Los logit del modelo 6 quedan definidos según las siguientes ecuaciones:

$$\text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -2,0966 - 0,1424\text{muestraALTA} - 0,6853\text{envio2015}$$

(Ecuación 18)

$$\text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) = -2,0339 + 0,1332\text{muestraALTA} - 0,2165\text{envio2015}$$

(Ecuación 19)

➤ Modelo 7 = DESEMPEÑO / MÉTODO+MUESTRA+ENVÍO

Tabla No. 15: Resultados para el modelo 7

Variabes Dependientes	Variabes Independiente	Coficiente	p-valor	AIC	DEVIANZA
Cuestionable	Intercepto	-1.6941	***	244.8264	43.02658
	Método OTRO	-17.1720			
	Método INDICADOR	-0.3454			
	Método	-0.8612	*		

VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTE	COEFICIENTE	p- valor	AIC	DEVIANZA
	POTENCIOMETRICA				
	Muestra ALTA	-0.1417			
	Envío 2015	-0.6470	**		
Insatisfactorio	Intercepto	-1.2578	***		
	Método OTRO	0.2133			
	Método INDICADOR	-0.7783	***		
	Método POTENCIOMETRICA	-1.3394	***		
	Muestra ALTA	0.1283			
	Envío 2015	-0.1339			

Los logit del modelo 7 quedan definidos según las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) &= -1,6941 - 17,1720\text{metOTRO} - 0,3454\text{metINDICADOR} \\ &- 0,8612\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,1417\text{muestraALTA} - 0,6470\text{envio2015} \end{aligned}$$

(Ecuación 20)

$$\begin{aligned} \text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) &= -1,2578 - 0,2133\text{metOTRO} - 0,7783\text{metINDICADOR} - 1,3384\text{metPOTENCIOMETRICO} \\ &+ 0,1283\text{muestraALTA} - 0,139\text{envio2015} \end{aligned}$$

(Ecuación 21)

6.3.2 Evaluación de la bondad de ajuste: Una vez se obtienen las devianzas de los modelos ajustados se compara cada una de ellas con la del modelo Nulo por medio de la ecuación No. 5 (p.32), concomitantemente se establece el índice AIC para analizarlo y determinar el mejor modelo.

Tabla No. 16: Comparación de las devianzas y de los AIC de los modelos ajustados:

MODELO	DEVIANZA	%D ²	AIC
Nulo	114,7103	----	----
1	63,76593	44,4%	257,5
2	101,4167	11,6%	287,2
3	88,86928	22,5%	274,6
4	54,20228	52,7%	252,0
5	44,09843	61,6%	241,8
6	87,74056	23,5%	277,5
7	43,0265	62,5%	244,8

El %D² indica que el modelo 7 que contiene las tres variables (MÉTODO+MUESTRA+ENVÍO) explica el 62,5% de la variabilidad mientras que el modelo 5 (METODO+ENVÍO) explica el 61,6%, por lo que se puede inferir que la variable MUESTRA no modifica de manera significativa el modelo. Adicionalmente si se analiza el índice AIC, el más bajo encontrado en las modelaciones es el del modelo 5, por lo tanto teniendo en cuenta estos dos criterios y siguiendo el principio de parsimonia el cual requiere que el modelo sea tan simple como sea posible el mejor modelo planteado es el 5 que tiene en cuenta el método de análisis y el año de envío.

Para el análisis de la sobredispersión para los modelos ajustados se emplea la razón entre la estadística ji-cuadrado y sus grados de libertad, en la tabla No.17 se encuentran los residuales de Pearson estimados para los diferentes modelos propuestos.

Tabla No. 17: Sobre-dispersión para los modelos ajustados

MODELO	RESIDUALES DE PEARSON	GRADOS DE LIBERTAD
Modelo 0	68.62584	10
Modelo 1	19.08174	4
Modelo 2	54.94981	8
Modelo 3	44.09652	8
Modelo 4	9.692348	2
Modelo 5	1.020637	2
Modelo 6	42.88519	6

Con los resultados obtenidos, al parecer el mejor modelo es el 5 el cual tiene en cuenta el DESEMPEÑO / MÉTODO+ENVÍO, los logit del mejor modelo son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) &= -1,837786 - 17,1698\text{metOTRO} - 0,3433266\text{metINDICADOR} \\ &\quad - 0,8600163\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,5499117 \text{envio2015} \end{aligned}$$

(Ecuación 22)

$$\begin{aligned} \text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) &= -1,126183 + 0,2117823\text{metOTRO} - 0,7820068\text{metINDICADOR} \\ &\quad - 1,3424861\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,217388 \text{envio2015} \end{aligned}$$

(Ecuación 23)

Una vez se escogido el mejor modelo se calcularon las odds ratios, como las exponenciales de los coeficientes hallados anteriormente.

Tabla No. 18: ODDS RATIO del mejor modelo (MODELO 5)

VARIABLE INDEPENDIENTE	CUESTIONABLE / SATISFACTORIO	INSATISFACTORIO / SATISFACTORIO
Intercepto	0,15913	0,324
Met OTRO	0,00000000349	1,234
MetINDICADOR	0,709	0,457
MetPOTENCIOMETRIA	0,423	0,261
Envío año 2015	0,576	0,804

El intervalo de confianza para las odds ratio se estimó para un confianza del 95% y se calculó primero a los coeficientes y posteriormente se calculó a la exponencial, se obtiene lo siguiente:

Tabla No. 19: Intervalos de confianza para las ODDS RATIOS

Cuestionable/Satisfactorio			
	Estimador	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
Intercepto	0,15913	0,0904	0,2799
Met OTRO	0,00000000349	0,0000	Inf
Met INDICADOR	0,709	0,398	1,262
Met POTENCIOMETRIA	0,423	0,217	0,824
Envío año 2015	0,576	0,442	0,751
Insatisfactorio/Satisfactorio			
	Estimador	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
Intercepto	0,324	0,216	0,485
Met OTRO	1,234	0,494	3,078
Met INDICADOR	0,457	0,303	0,691
Met POTENCIOMETRIA	0,261	0,159	0,429
Envío año 2015	0,804	0,650	0,995

6.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO OBTENIDO

Finalmente se realizó la interpretación del modelo hallando las probabilidades predichas por el modelo en los 27 perfiles que se emplearon para su construcción. En la tabla No. 20 se presentan los perfiles que se utilizaron para la estimación de los modelos propuestos

Tabla No. 20: Perfiles utilizados para la estimación del mejor modelo

PERFIL	MUESTRA	ENVIO	METODO
1	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO
2	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
3	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	VOLUMETRIA (Indicador)
4	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
5	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO
6	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
7	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	VOLUMETRIA (Indicador)
8	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
9	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO
10	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
11	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	VOLUMETRIA (Indicador)
12	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
13	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	FOTOMÉTRICO
14	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRIA (Indicador)
15	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
16	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	FOTOMÉTRICO
17	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRIA (Indicador)
18	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
19	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	FOTOMÉTRICO
20	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRIA (Indicador)
21	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
22	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	FOTOMÉTRICO
23	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRIA (Indicador)
24	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
25	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	FOTOMÉTRICO
26	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRIA (Indicador)
27	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA

Las probabilidades estimadas con el modelo escogido son:

Tabla No. 21: Probabilidades estimadas para el modelo 5

PERFIL	SATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	CUESTIONABLE
1	67,4%	21,9%	10,7%
2	71,0%	28,6%	0,0%
3	79,0%	11,8%	9,0%
4	86,0%	7,4%	5,8%
5	67,0%	21,9%	10,7%
6	71,0%	28,6%	0,0%
7	79,0%	11,8%	9,0%
8	86,0%	7,4%	5,8%
9	67,0%	21,9%	10,7%
10	71,0%	28,6%	0,0%
11	79,0%	11,8%	9,0%
12	86,0%	7,4%	5,8%
13	73,0%	19,3%	6,8%
14	84,0%	10,1%	5,5%
15	90,0%	6,2%	3,5%
16	73,0%	19,3%	6,8%
17	84,0%	10,1%	5,5%
18	90,0%	6,2%	3,5%
19	73,0%	19,3%	6,8%
20	84,0%	10,1%	5,5%
21	90,0%	6,2%	3,5%
22	73,0%	19,3%	6,8%
23	84,0%	10,1%	5,5%
24	90,0%	6,2%	3,5%
25	73,0%	19,3%	6,8%
26	84,0%	10,1%	5,5%
27	90,0%	6,2%	3,5%

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez se estiman las probabilidades para cada perfil, se observa que aquellos perfiles que presentan una mayor probabilidad de obtener un resultado satisfactorio son:

Tabla No. 22: Perfiles con mayor probabilidad de obtener un resultado satisfactorio

PERFIL	MUESTRA	ENVÍO	MÉTODO
18	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
21	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
24	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
27	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA

Los perfiles que presentaron menor probabilidad de obtener un resultado satisfactorio, son los presentados en la Tabla No. 23:

Tabla No. 23: Perfiles con menor probabilidad de obtener un resultado satisfactorio

PERFIL	MUESTRA	ENVIO	METODO
1	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO
5	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO

Tabla No. 24: Perfiles con mayor probabilidad de presentar resultados insatisfactorio

PERFIL	MUESTRA	ENVIO	METODO
2	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
6	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
10	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO

Tabla No. 25: Perfiles con menor probabilidad de presentar resultados insatisfactorio

PERFIL	MUESTRA	ENVIO	METODO
15	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
18	MUESTRA ALTA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
21	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
24	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA
27	MUESTRA BAJA	AÑO 2015	VOLUMETRÍA POTENCIOMÉTRICA

Tabla No. 26: Perfiles con mayor probabilidad de presentar resultados cuestionables

PERFIL	MUESTRA	ENVIO	METODO
1	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO
5	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO
9	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	FOTOMÉTRICO

Tabla No. 27: Perfiles con menor probabilidad de presentar resultados cuestionables

PERFIL	MUESTRA	ENVIO	METODO
2	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
6	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO
10	MUESTRA ALTA	AÑO 2014	OTRO

8. CONCLUSIONES

- Se planteó un modelo logístico multinomial teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los laboratorios participantes del programa PICCAP en los años 2014 y 2015 con los diferentes métodos de ensayo empleados para el análisis del parámetro Alcalinidad a diferentes concentración en la matriz agua para consumo humano. Después de realizar el análisis de la devianza, del criterio AIC, la sobre-dispersión y el principio de parsimonia, el modelo escogido para el análisis de datos fue el modelo No 5 el cual se resume en los dos logit presentados a continuación.

$$\begin{aligned} \text{logit} \left(\frac{\text{CUESTIONABLE}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) &= -1,837786 - 17,1698\text{metOTRO} - 0,3433266\text{metINDICADOR} \\ &- 0,8600163\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,5499117 \text{envio2015} \end{aligned}$$

(Ecuación 24)

$$\begin{aligned} \text{logit} \left(\frac{\text{INSATISFACTORIO}}{\text{SATISFACTORIO}} \right) &= -1,126183 + 0,2117823\text{metOTRO} - 0,7820068\text{metINDICADOR} \\ &- 1,3424861\text{metPOTENCIOMETRICO} - 0,217388 \text{envio2015} \end{aligned}$$

(Ecuación 25)

- Se escogieron tres (3) variables independientes, a saber nivel de concentración de las muestras enviadas (ALTA/BAJA), año de envío (2014/2015) y método analítico (FOTOMETRICO/POTENCIOMETRICO/INDICADOR/OTRO) para el análisis de los datos y la modelación. Y como variable dependiente se estableció el desempeño obtenido por los laboratorios.

- Una vez realizado el análisis descriptivo de la variable desempeño se observa que el PICCAP está cumpliendo con los objetivos planteados desde su creación ya que está sirviendo como herramienta para la mejora continua de los laboratorios, aumentando la cantidad de resultados Satisfactorios del año 2014 al 2015.
- De acuerdo con el análisis descriptivo de la variable técnica analítica se infiere que las diferentes técnicas analíticas utilizadas por los participantes para el análisis de alcalinidad en el PICCAP son equivalentes técnicamente ya que arrojan resultados similares (análisis de las gráficas box-plot).
- Hubo un incremento en 1,2% de los participantes del 2014 al 2015, evidenciando el crecimiento del PICCAP en el transcurso del tiempo, de acuerdo al análisis descriptivo realizado para esta variable.
- En el análisis de los efectos de interacción se observa que la variable Muestra no es significativa en la mayoría de los modelos planteados (modelo 4, 6 y 7) lo que al final se evidencia en que el mejor modelo (5) no tiene en cuenta esta variable; se concluye que el nivel de concentración de las muestras enviadas para el análisis de alcalinidad no está afectando el desempeño obtenido por los participantes.
- Respecto a las probabilidades inferidas por el mejor modelo (5) se concluye que la técnica que proporciona mejores resultado para el análisis de alcalinidad en agua, es la potenciométrica; por otro lado, la técnica analítica que arroja mayores resultados insatisfactorios son los métodos in house (desarrollados en los laboratorios y denominados en este estudio como OTROS); este resultado se

encuentra muy acorde a lo encontrado en la parte técnica ya que los métodos potenciométricos no dependen de factores humanos para la detección del punto final y además al ser normalizados han pasado por una serie de ensayos y análisis estadísticos que los hacen aptos para el fin previsto, contrario a los métodos in house que son desarrollados por los mismo laboratorios y no tienen estos mismos controles.

9. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a lo encontrado después de la modelación, se sugiere a los participantes del PICCAP que el análisis de alcalinidad en la matriz de agua para consumo humano, sea implementado por la técnica potenciométrica ya que hay mayores probabilidades de obtener resultados satisfactorios por esta técnica.
- Para el análisis de alcalinidad se recomienda utilizar métodos normalizados ya que los desarrollados por los laboratorios y los métodos fotométricos, presentan mayor probabilidad de obtener resultados insatisfactorios y cuestionables.
- Para futuros estudios es importante conocer otras variables que afecten los resultados del laboratorio, tales como validación de métodos, acreditación del ensayo, tiempo de experiencia del analista, entre otros para tener en cuenta en la modelación.
- Se recomienda continuar con este estudio analizando los demás parámetros del PICCAP para poder dar lineamientos nacionales tanto en la implementación de técnicas analíticas como en el manejo de diferentes niveles de concentración.

10. REFERENCIAS

- 1 INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. (2005). *NTC ISO/IEC 17025. Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC.
- 2 INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. (2010). *NTC ISO/IEC 17043. Evaluación de la conformidad-requisitos generales para ensayos de aptitud*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC.
- 3 JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY (JCM). (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) Conceptos fundamentales, generales y términos asociados*. . 2012: Centro Español de Metrología.
- 4 MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. (5 de Agosto de 2014). Decreto No. 1471 del 2014. Por el cual se reorganiza el Subsistema Nacional de Calidad y se modifica el Decreto 2269 de 1993. Bogota: Colombia .
- 5 MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. (9 de Mayo de 2007). Decreto No. 1575 del 2007. Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. Bogota: Colombia .
- 6 Nava, G. Guzman, B (2015). *Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano año 2014*. Bogota: Imprenta Nacional.
- 7 Nava, G. Mejía A, Soler J. (2013). *Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2007-2011*. Bogota: Imprenta Nacional de Colombia
- 8 Organización Internacional de Normalización (ISO) Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (1997). *Ensayos de Aptitud por Comparaciones Interlaboratorio - Parte 1: Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud*. Colombia: ISO/CASCO
- 9 Organización Internacional de Normalización (ISO) Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (1997). *Ensayos de Aptitud por Comparaciones Interlaboratorio - Parte 2: Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud*. Colombia: ISO/CASCO
- 10 Organismo Nacional de Acreditación Colombiano - ONAC. (s.f.). www.onac.org.co. Recuperado el 20 de 03 de 2017, de www.onac.org.co: <http://onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=562>

ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS ROBUSTO: ALGORITMO A

Este algoritmo produce valores robustos del promedio y de la desviación estándar de los datos a los cuales se aplica.

- Se indican los elementos p de los datos, clasificados en orden creciente mediante:

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_p$$

- Se calculan los valores iniciales para \hat{x} y \hat{s} , así:

$$\hat{x} = \text{mediana de } x_i \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$\hat{s} = 1,483 \text{ mediana de } |x_i - \hat{x}| \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

- Una vez se tienen los valores iniciales, se actualizan los valores de \hat{x} y \hat{s} , así:

$$\delta = 1,5 \hat{s}$$

- Para cada x_i ($i = 1, 2, \dots, p$), se calcula:

$$\left[\begin{array}{ll} \hat{x} - \delta, & \text{si } x_i < \hat{x} - \delta \\ \hat{x}_i = & \hat{x} + \delta, \quad \text{si } x_i > \hat{x} + \delta \\ x_i, & \text{de otra manera} \end{array} \right]$$

- Se calculan los nuevos valores de \hat{x} y \hat{s} a partir de:

$$\hat{x}^* = \sum \frac{X_i^*}{p}$$

$$\hat{s}^* = 1,134 \sqrt{\sum \frac{(X_i^* - \hat{x}^*)^2}{(p-1)}}$$

En donde las sumatoria es en todo i

Los estimados robustos \hat{x} y \hat{s} se estiman nuevamente a través de un cálculo iterativo, es decir actualizando los valores de \hat{x} y de \hat{s} varias veces utilizando las series de datos modificadas hasta que el proceso converja. En este sentido, se asume convergencia cuando no hay cambio de entre una iteración y la siguiente en la tercera cifra significativa de la desviación estándar robusta y de la cifra equivalente del promedio robusto.

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 5755:2010. Métodos Estadísticos para Utilizar en los Ensayos de Aptitud mediante comparaciones Interlaboratorio.

ANEXO 2: LABORATORIOS PARTICIPANTES PICCAP AÑOS 2014 Y 2015

LABORATORIO
ACONPIS LABORATORIOS
ACUAMBIENTE LTDA
ACUATEST S.A.S.
ACUAVALLE S.A. E.S.P. - LABORATORIO CONTROL CALIDAD DE AGUA POTABLE
ACUAZUL LTDA
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA SA ESP
ACUEDUCTO REGIONAL TAUSA Y OTROS MCPS
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS DE COLOMBIA SA ESP ACUALCO
AGUA DE LOS PATIOS S.A. E.S.P.
AGUALIMSU SAS
AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P.
AGUAS DE BUGA S.A. ESP
AGUAS DE CARTAGENA SA, ESP
AGUAS DE GIRARDOT, RICAURTE Y LA REGION S.A. E.S.P
AGUAS DE LA SABANA S.A. E.S.P.
AGUAS DE MANIZALES S.A. E.S.P.
AGUAS DE RIONEGRO S.A. E.S.P.
AGUAS DEL PÁRAMO DE SONSON S.A.S. E.S.P
AGUAS DEL SOCORRO
AGUASANITARIAS SAS
AGUASCOL S.A. E.S.P - CAUCASIA
ALCALDÍA DE ARAUQUITA
ALISCCA S.A.S
ALLCHEM CIA LTDA
ALVAREZ MEDINA LTDA - LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA
AMBIELAB LTDA
AMBIENCIQ INGENIEROS S.A.S
AMBITEST LTDA
AMFAC LABORATORIO E.U
ANALISIS AMBIENTAL LTDA
ANALIZAR LABORATORIO FISICOQUIMICO LTDA.
ANALQUIM LTDA
ANALTEC LABORATORIOS - SEDE PEREIRA

LABORATORIO
ANALTEC LABORATORIOS S.A.S - SEDE MEDELLIN
ANALYSERVICES LTDA
ANASCOL
ANGEL DIAGNOSTICA S.A
ANTEK S.A
AQALAB LABORATORIO SAS
AQUALITYLAB S.A.S.
AQUAOCCIDENTE S.A E.S.P
AQUATEKNICA LTDA
AQUAVIDA LABORATORIO PROYCOM S.A
ASBIOQUIM LTDA
ASEBIOL S. A. S.
ASINAL LTDA
ASOCIACION DE USUARIOS DE SERVICIOS DE BARCELONA QUINDIO
ASOCIACION MUNICIPAL DE ACUEDUCTOS COMUNITARIOS
AVALQUIMICO SAS
BIOASIEL LABORATORIOS S.A.S.
BIOCENTER
BIOPOLIMEROS INDUSTRIALES LTDA. BIOPOLAB
BIOQUILAB LTDA
BIOTRENDS LABORATORIOS SAS
CALIDAD MICROBIOLOGICA S.A.S.
CAMEDICA Y MP DIAGNOSTICOS SAS
CECAL LTDA
CENTRO DE CALIDAD DE AGUAS - UNIVERSIDAD DE LOS LLAÑOS
CENTRO DE GESTIÓN AGROEMPRESARIAL DEL ORIENTE SENA -VELEZ
CENTRO INTEGRAL DE ANALISIS
CENTROAGUAS S.A. ESP
COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA-LABORATORIO LACMA
COMPAÑÍA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE SOGAMOS COSERVICIOS S.A ESP
CONCESIONARIA TIBITOC S.A. E.S.P.
CONFIA CONTROL SAS
CONHYDRA S.A. E.S.P

LABORATORIO
CONSTANZA CASTILLO HERRERA
CONSTRUCSUELOS SUMINISTROS LTDA
CONSULTORIA Y ANALISIS AMBIENTAL SAS
CONSULTORIA Y SERVICIOS AMBIENTALES CIAN LTDA
CONSULTORIA Y SERVICIOS CONOSER LTDA
CONSULTORIAS AMBIENTALES MICROBIOLÓGICAS Y FISICOQUIMICAS LIMITADA
CONTROL Y GESTION AMBIENTAL LTDA.
COOPERATIVA COLANTA LTDA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS RÍOS RIONEGRO - NARE CORNARE
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA-CORANTIOQUIA
CORPORACIÓN INTERACTUAR
CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA CORROSIÓN-LABORATORIO BIOCORROSIÓN
CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META
CORPOURABA
DAPHNIA LTDA
DBO INGENIERIA LTDA
DOCTOR CALDERÓN ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA LTDA
ECOHEMICAL S.A.S
ECOLTEK INGENIERIA SAS
ECOQUIMICA LTDA
EMCALI EICE ESP - LABORATORIO DE AGUA POTABLE
EMDUPAR S.A.E.S.P
EMPATIA E.S.P.
EMPITALITO ESP EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE PITALITO - EMPITALITO ESP
EMPOCHIQUINQUIRÁ E.S.P.
EMPODUITAMA SA ESP

LABORATORIO
INGENIO SANCARLOS S.A
INOQUALAB S.A.S
INSTITUTO DE DIAGNÓSTICO MÉDICO IDIME
INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL SAS
INSTITUTO DEPARTAMENTAL DE SALUD DE NORTE DE SANTANDER
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD - GRUPO CALIDAD DE AGUA
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD - GRUPO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS - INVIMA
IVONNE BERNIER LABORATORIO LTDA
KOLBE INTERNACIONAL SAS
LABCONTROL EU
LABORAGUAS SAS
LABORATORIO ABBA CLINICO MICROBIOLOGICO E INDUSTRIAL
LABORATORIO AGROINDUSTRIAL BIOCALIDAD
LABORATORIO AGUA SANTA ANÁLISIS Y RESULTADOS SAS
LABORATORIO AGUAS DEL PUERTO S.A.E.S.
LABORATORIO AMBIENTAL - CERREJON
LABORATORIO AMBIENTAL DEL TOLIMA OPERADO POR CORCUENCAS, EN VIRTUD DEL COMODATO CELEBRADO ENTRE CORTOLIMA Y CORCUENCAS
LABORATORIO AMBIENTAL Y SERVICIOS SANITARIOS LASS
LABORATORIO ANALISIS DE AGUAS AMPARO RESTREPO (ALFAMPAR S.A.S)
LABORATORIO ANALISIS-CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y AGUA
LABORATORIO BACTERIOLÓGICO DE ALIMENTOS - LABALIME
LABORATORIO BACTERIOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS Y ALIMENTOS MIGUEL TORRES BENEDETTI
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD AGUAS CMG
LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD CARMEN ADRIANA LOPEZ
LABORATORIO CONTROL MICROBIOLÓGICO
LABORATORIO DE AGUAS - EMPRESAS PUBLICAS DE NEIVA
LABORATORIO DE AGUAS - UNISANGIL
LABORATORIO DE AGUAS DE CODECHOCO
LABORATORIO DE AGUAS EMPUGAR ESP
LABORATORIO DE AGUAS UNIVERSIDAD DEL QUINDIO
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DE

LABORATORIO
LA CDMB
LABORATORIO DE ALIMENTOS Y SIMILARES MICROQUIM S.A.S
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL DEL CARIBE S.A.S.
LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL UNIVERSIDAD MARIANA
LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA DE CORPOAMAZONIA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS -UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS Y AGUAS PROCALIDAD
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CORPOBOYACA
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DE CORPOBOYACA - AQUITANIA
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DE CORPOCHIVOR
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA EMCARTAGO ESP
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS DE EMSERPA E.I.C.E. E.S.P.
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA-VENECIA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EAAA ESPINAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE AGUA DE AGUAS KPITAL CUCUTA S.A. E.S.P.
LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL CORALINA
LABORATORIO DE INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA Y LODOS - PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL -UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE BOGOTA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE MEDELLÍN - FACULTAD DE MINAS
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE AGUAS Y ALIMENTOS UNIVERSIDAD NACIONAL - SEDE MEDELLIN
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA CAQUETA
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DE CORDOBA
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DE CUNDINAMARCA
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DE LA SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD DE BOGOTA D.C
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DE NARIÑO
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DE RISARALDA
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEL

LABORATORIO
MAGDALENA
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEL QUINDIO
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEL TOLIMA
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEL VALLE DEL CAUCA
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEPARTAMENTAL - SAN ANDRES ISLAS
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL AMAZONAS
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEPARTAMENTAL DEL ATLANTICO
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL DEL CESAR
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEPARTAMENTAL DEL GUAINIA
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEPARTAMENTAL DIRECCION TERRITORIAL DE SALUD DE CALDAS
LABORATORIO DE SALUD PUBLICA FRONTERIZO DE ARAUCA
LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA UDEA
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD - UNIVERSIDAD DEL VALLE
LABORATORIO DEL GRUPO DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL-LABGIGA
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA - GOBERNACIÓN DE BOYACÁ
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PUBLICA DE BOLIVAR
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA DE LA GUAJIRA
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PUBLICA DEL CAUCA
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PUBLICA DEL META
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PUBLICA VAUPES
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PUBLICA VICHADA
LABORATORIO DEPARTAMENTAL DESALUD PUBLICA SANTANDER
LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS DIVISION AMBIENTAL
LABORATORIO EMICAL LTDA
LABORATORIO EMPRESAS PUBLICAS MUNICIPALES DE APIA
LABORATORIO ESBARBOSA E.S.P
LABORATORIO INSTRUMENTAL SERVICE LTDA
LABORATORIO MICROBIOLÓGICO DE BARRANQUILLA S.A.S
LABORATORIO MICROBIOLOGICO MARGIE OJEDA DE SANTAELLA
LABORATORIO MICROBIOLOGICO ORTIZ MARTINEZ SAS
LABORATORIO MICROBIOLOGICO Y FISICOQUIMICO DE AGUAS Y

LABORATORIO
ALIMENTOS
LABORATORIO PARA LA INDUSTRIA Y EL MEDIO AMBIENTE LIMA LTDA.
LABORATORIO QC SAS
LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA.
LABORATORIO UNIDSALUD SAS
LABORATORIOS DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DE COLOMBIA E.U
LABORATORIOS DEL VALLE
LABORATORIOS NANCY FLOREZ GARCIA S.A.S
LABORATORIOS PRODYCON S.A
LABORATORIOS UNIDOS - AMBIENTE Y SALUD
MABER SOLUCIONES HIDROQUÍMICAS SAS
MCS CONSULTORIA Y MONITOREO AMBIENTAL
MEDIEMPRESAS SAS
METROAGUA S.A. E.S.P. COMPAÑIA DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO METROPOLITANO DE SANTA MARTA.
MICROAMBIENTAL INGENIERIA S.A.S.
MICROBIÓLOGOS ASOCIADOS LTDA
MICROLAB & CIA LTDA
MICROLAB DEL NORTE
MICROLAB LABORATORIOS Y ASESORIAS SAS
MK INVERSIONES LTDA
NULAB LTDA
OFICINA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE UBATÉ
OMNIAMBIENTE SAS
OPERADORES DE SERVICIOS DE LA SIERRA S.A E.S.P
OPERADORES DE SERVICIOS S.A E.S.P
PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA AGUA POTABLE Y RESIDUAL SAS
PROACTIVA AGUAS DE MONTERÍA S.A E.S.P
PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P

LABORATORIO
PROACTIVA AGUAS DEL ARCHIPIÉLAGO S.A. E.S.P.
PROAMBIENTE S.A.S.
PSL PROANÁLISIS LTDA.
QUALITY ANALYSIS
QUIMIPROYECTOS SAS
QUIMLEC LTDA
RED VITAL PAIPA S.A. E.S.P.
RIOPAILA CASTILLA S.A - FLORIDA
RIOPAILA CASTILLA S.A - ZARZAL
RUITOQUE S.A E.S.P
SECRETARIA DE SALUD DE CASANARE / GRUPO LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA
SECRETARIA DE SALUD DEL GUAVIARE
SECRETARIA DE SALUD DEPARTAMENTAL DEL HUILA
SECRETARIA DE SALUD DEPARTAMENTAL- LABORATORIO DE SALUD PUBLICA DEL PUTUMAYO
SECRETARIA DE SALUD PUBLICA MUNICIPAL DE SANTIAGO DE CALI
SECRETARIA SECCIONAL DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL DE ANTIOQUIA LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA
SEILAM S.A.S
SEPPCA S.A. E.S.P.
SERVICIO DE INGENIERÍA Y AMBIENTE S.A.S
SERVICIUAD E.S.P. LABORATORIO
SERVIQUIMICA
SERVIQUIMICOS E.U.
SGS COLOMBIA
SIAMA LTDA
SISTEMAS HIDRÁULICOS Y SANITARIO LTDA
SOCIEDAD ACUEDUCTO ALCANTARILLADO Y ASEO DE BARRANQUILLA TRIPLE A SA ESP
SOCIEDAD ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYAN S.A. E.S.P

LABORATORIO
SOCIEDAD CIENTÍFICA DE INVESTIGACIONES Y TECNOLOGÍA S.A
SOLUCIONES AMBIENTALES - INGENIERIA & LABORATORIO AMBIENTAL E.U
SQR CONSTRUCCIONES Y CONSULTORIAS SAS - SUCURSAL AQUALIM
STL S.A. E.S.P.
TECNIMICRO LABORATORIO DE ANÁLISIS SAS
TECNOAMBIENTAL S.A.S.
TECNODESARROLLO LTDA
UNIDAD EJECUTORA DE SANEAMIENTO DEL VALLE DEL CAUCA - SUBSEDE CALI
UNIDAD EJECUTORA DE SANEAMIENTO DEL VALLE DEL CAUCA - SUBSEDE TULUA
UNIDAD EJECUTORA DE SANEAMIENTO DEL VALLE DEL CAUCA SUBSEDE CARTAGO
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - GDCON
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS PFA-
UNIVERSIDAD DE LA SALLE
UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN - CENTRO DE LABORATORIOS
UNIVERSIDAD DE NARIÑO - LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO Y AGUAS
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA- LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO - LABORATORIO DE ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DEL AGUA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE ORINOQUIA LABORATORIO DE SUELOS AGUAS Y FOLIALES
UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
WATER TECHNOLOGY ENGENERING
ZONAS COSTERAS S.A.S.